

Утверждаю
Генеральный директор ООО «Иновация»



Королева А.А.

20 ноября 2022г

ПРОТОКОЛ

Испытания опытных образцов опорных подшипников на масляной подушке

1. Объект экспериментальных исследований: Опорный подшипник скольжения на масляной подушке в количестве 64 шт.

2. Цель испытания: Определение соответствия опорного подшипника скольжения на масляной подушке требованиям технического задания на выполнение НИОКР.

4. Дата начала и окончания испытаний: 14.03. 2022 г.-15.11.2022г

5. Место проведения экспериментальных исследований:
СГТУ имени Гагарина Ю.А.

6. Испытания опорного подшипника скольжения на масляной подушке (ОП) на соответствие его основных технических параметров, определяющих его функциональные, количественные (числовые) и качественные характеристики, и конструктивных требований техническому заданию (ТЗ).

В основу испытаний положена «Программа и методика проведения испытаний опытных образцов энергосберегающего опорного подшипника скольжения на масляной подушке» от 15.01.2022г (далее ПиМ) – Приложение к отчету

6.1. Испытания ОП на соответствие количественных параметров, определяющих выполнение им своих функций, требованиям пункта 4.1.2 ТЗ.

В основу этого вида испытаний положена методика, изложенная в п. 5.1 ПиМ.

Средства проведения испытаний и требования технического задания (ТЗ) к условиям испытаний

Наименование, тип и марка	Методика испытаний	Условия испытаний в соответствии с ТЗ
Стенд для испытания на статическую грузоподъемность	ПиМ п. 5.1.1	$\leq 12000\text{H}$
Стенд для испытания момента сопротивления вращению подшипников	ПиМ п. 5.1.2	Нагрузка осевая $P=3420+150\text{H}$
Стент для испытания подшипников на ударную нагрузку	ПиМ п. 5.1.3	Масса груза $G=20\text{кг.}$, высота $h=1\text{ м.}$
Стенд для испытания на степень загрязнения	ПиМ п.5.1.4	Нагрузка осевая $P=3420+80\text{H}$; $\alpha= \pm 37^\circ\text{№}$ $n=1000\text{ дв.кач.}$
Стенд для ресурсных испытаний подшипников	ПиМ п. 5.1.5	Нагрузка осевая $P= 4900\text{H}+200\text{H}$; $\alpha= \pm 37^\circ\text{№}$ $n\geq 2,5\text{ млн. дв.кач.}$

Стенд для испытания на стойкость к вибрациям	ПиМ п. 5.1.6	Осевая нагрузка P=5000 Н; частота колебаний f=50 Гц., ампл. a=1 мм.; время t=16 ч.
--	--------------	--

Результаты стендовых испытаний опорных подшипников скольжения на масляной подушке

Показатель	Требования ТЗ	Фактические значения параметров	Результат
Статическая грузоподъемность	Должна быть ≥ 12000 Н	23000 Н	Соответствует требованиям ТЗ
Момент сопротивления вращению подшипников	Не должен превышать 3 Н·м	2,45±0,15 Н*м	Соответствует требованиям ТЗ
Затраты энергии на трение*	Не должны превышать 3 Дж	1,62 Дж	Соответствует требованиям ТЗ
Сопротивление ударной нагрузке	Требуется выдержать удар груза массой 20 кг. При падении с высоты с высоты 1 м.	100% ОП выдержали удар груза массой 20 кг. при его падении с высоты 1 м	Соответствует требованиям ТЗ
Сопротивление загрязнению	Отсутствие влаги, загрязнений, разрушений	Отсутствие влаги, загрязнений, разрушений	Соответствует требованиям ТЗ
Ресурс работы	Требуется выдержать 2,5 млн. циклов нагружений	Выдержали 2,5 млн. циклов нагружений и сохранили работоспособность	Соответствует требованиям ТЗ
Сопротивление вибрациям	Надежность работы в условиях вибраций	Все испытываемые подшипники после испытания не имеют каких-либо изменений	Соответствует требованиям ТЗ

*Затраты энергии на осуществление поворота опорного подшипника скольжения на угол $\alpha=0,645$ рад. (37°) определялись по формуле: $e=\alpha \cdot M$, где M- момент трения, Н·м.

Результаты сравнительных испытаний подшипников предлагаемой конструкции (ПС) и фирм SKF (Швеция) и ООО «Рефмашпром» (РМП) Фирма

Показатели	SKF	РМП	ПС
Доля подшипников, выдержавших испытание на виброустойчивость, %	0	0	100
Сопротивление ударной нагрузке при падении груза массой 20 кг с высоты 1 м	Испытание не выдержал-появилась	Испытание выдержал	Испытание выдержал

	пластическая деформация в местах расположения шариков		
Статическая грузоподъемность-среднее значение	17500	26000	22000

ВЫВОДЫ: 1. Все испытываемые опорные подшипники на масляной подушке по количественным значениям технических параметров соответствуют техническому заданию.

2. Опорные подшипник предложенной конструкции превосходят испытанные шариковые подшипник по статической грузоподъемности, по сопротивлению ударной нагрузке и по виброустойчивости.

6.2. Испытание ОП на соответствие функций, выполнение которых он должен обеспечивать, требованию пункта 4.1.1 ТЗ.

Испытание проведено в соответствии с методикой, изложенной в п. 5.2 ПиМ.

№ пункта ТЗ	Наименование показателей	Фактическое значение показателей	Результаты испытаний
4.1.1	Легкое и плавное вращение	Момент вращения $2,45 \pm 0,15$ Н*м	Соответствует требованиям ТЗ
4.1.1	Восприятие осевой и радиальной нагрузки на подшипник	Статическая грузоподъемность под углом 70° составляет 23000 Н	Соответствует требованиям ТЗ
4.1.1	Надежность работы в условиях вибрации и ударной нагрузки	Все испытываемые подшипники выдержали испытание на удар и вибрацию	Соответствует требованиям ТЗ
4.1.1	Надежная защита от воздействия влаги и загрязнений	ОП выдержал испытания в агрессивной среде в течение 16 часов.	Соответствует требованиям ТЗ
4.1.1	Высокий ресурс работы	ОП выдержал 2,5 млн. качательных движений под рабочей нагрузкой.	Соответствует требованиям ТЗ

6.3. Испытание ОП на соответствие входных воздействий, необходимых для выполнения им заданных функций, требованиям пункта 4.1.3 ТЗ.

Испытание проведено в соответствии с методикой, изложенной в п. 5.3. ПиМ.

№ пункта ТЗ	Наименование показателей	Фактическое значение показателей	Результаты испытаний
4.1.3	Верхнее и нижнее кольца подшипника должны быть выполнены из прочного стеклонаполненного	Верхнее и нижнее кольца подшипника выполнены из прочного стеклонаполненного	Соответствует требованиям ТЗ

	полиамида, выдерживающие внешние нагрузки до 19000 Н.	полиамида, кольца и подшипник в целом выдерживают нагрузку 23000 Н	
4.1.3	Профили дорожек скольжения должны иметь вид пересекающихся под тупым углом прямых линий.	Профили дорожек скольжения имеют вид пересекающихся под углом прямых линий.	Соответствует требованиям ТЗ
4.1.3	Угол профиля дорожки скольжения верхнего кольца на 0,3-0,8 градусов должен быть больше угла профиля дорожки скольжения нижнего кольца.	Угол профиля дорожки скольжения верхнего кольца на 0,5 градусов больше угла профиля дорожки скольжения нижнего кольца.	Соответствует требованиям ТЗ
4.1.3	По центру дорожки скольжения нижнего кольца должна быть выполнена круговая масляная канавка шириной до 2 мм и глубиной не менее 1 мм, заполненная смазкой.	По центру дорожки скольжения нижнего кольца выполнена круговая масляная канавка шириной 2 мм и глубиной 2 мм, заполненная смазкой.	Соответствует требованиям ТЗ
4.1.3	Между дорожками скольжения должна быть установлена кольцевая фторопластовая прокладка толщиной до 2 мм.	Между дорожками скольжения установлена кольцевая фторопластовая прокладка толщиной 0,25 мм.	Соответствует требованиям ТЗ

6.4. Испытание ОП на соответствие выходных реакций, обеспечиваемых им в результате выполнения своих функций, требованиям пункта 4.1.4 ТЗ.

Испытание проведено в соответствии с методикой, изложенной в п. 5.4 ПиМ.

№ пункта ТЗ	Наименование показателей	Фактическое значение показателей	Результаты испытаний
4.1.4	Фторопластовая прокладка, расположенная между дорожками скольжения верхнего и нижнего колец, должна под внешней нагрузкой на подшипник надежно защемляться внешними и внутренними кромками дорожек скольжения и тем самым обеспечивать образование масляной подушки.	Фторопластовая прокладка расположена между дорожками скольжения верхнего и нижнего колец и под внешней нагрузкой на подшипник надежно защемляется внешними и внутренними кромками дорожек скольжения, тем самым обеспечивая образование масляной подушки.	Соответствует требованиям ТЗ

4.1.4	Масляная подушка должна воспринимать часть внешней нагрузки на подшипник и тем самым уменьшать площадь фактического контакта дорожек скольжения, снижать трение и энергозатраты при работе подшипника, предотвращать износ подшипника, смягчать ударные нагрузки и гасить вибрации.	Масляная подушка, находясь в закрытой полости между дорожкой и фторопластовой прокладкой, воспринимает часть внешней нагрузки на подшипник и тем самым уменьшает площадь фактического контакта дорожек скольжения, снижает трение и энергозатраты при работе подшипника, предотвращает износ подшипника, смягчает ударные нагрузки и гасит вибрации.	Соответствует требованиям ТЗ
-------	---	--	------------------------------

6.5. Испытания ОП на соответствие конструкции и его составных частей требованиям пункта п. 4.2.1 ТЗ.

Испытание проведено в соответствии с методикой, изложенной в п. 5.5 ПиМ.

№ пункта ТЗ	Требования ТЗ	Фактические	Заключение
4.2.1	Нижнее и верхнее кольца подшипника должны быть изготовлены из современных высокопрочных трибополимеров типа "ГРОДНАМИД" ПА6-ЛТ-СВ30В-2, выдерживающих разрушающее напряжения растяжения не менее 80 МПа и рабочие температуры в пределах от -50°C до + 150 °С.	Нижнее и верхнее кольца подшипника изготовлены из современных высокопрочных трибополимеров типа "ГРОДНАМИД" ПА6-ЛТ-СВ30В-2, выдерживающих разрушающее напряжения растяжения не менее 80 МПа и рабочие температуры в пределах от -50°C до + 150 °С. ГОСТ 17648-83	Соответствует требованиям ТЗ
4.2.1	Верхнее и нижнее кольца при сборке должны обеспечивать лабиринтное соединение	Верхнее и нижнее кольца при сборке обеспечивают лабиринтное соединение	Соответствует требованиям ТЗ
4.2.1	По центру профиля дорожек скольжения колец должны быть выполнены углубления для формирования масляных	По центру профиля дорожек скольжения колец выполнены углубления для формирования	Соответствует требованиям ТЗ

	карманов	масляных карманов	
4.2.1	<p>Между дорожками скольжения подшипника должна быть установлена антифрикционная прокладка из современного трибополимера. Антифрикционная прокладка должна иметь модуль упругости до 1500 МПа, износостойкость при трении не менее 0,03 мкм/км и прочность на растяжение не менее 132 МПа.</p>	<p>Между дорожками скольжения подшипника установлена антифрикционная прокладка из современного трибополимера – Фторопласт-4 П ГОСТ 10007-80, имеющего модуль упругости до 686,5 МПа, износостойкость при трении не менее 0,03 мкм/км и прочность на растяжение не менее 132 МПа.</p>	Соответствует требованиям ТЗ
4.2.1	<p>Лабиринтное соединение и масляные канавки должны быть заполнены пластичной смазкой типа ЦИАТИМ 203 или Солидол С с температурой каплепадения не менее 85-105 °С, пенетрацией не менее 31 мм, пределом прочности 400-500 Па и коллоидной стабильностью не менее 5%.</p>	<p>Лабиринтное соединение и масляные канавки заполнены пластичной смазкой ЦИАТИМ- 203 ГОСТ 8773-73 с температурой каплепадения 160 °С, пенетрацией при 25°С 250-300, пределом прочности 400-500 Па и коллоидной стабильностью 10%.</p>	Соответствует требованиям ТЗ
4.2.1	<p>Габаритные размеры опорного подшипника должны соответствовать следующим параметрам: Диаметр посадочного отверстия должен составлять 61,8+0,1 мм. Наружный диаметр должен составлять 86,75-0,1 мм. Высота должна составлять 12 мм. плюс-минус 0,1 мм. Масса подшипника должна составлять 0,04 кг. плюс-минус 0,005 кг.</p>	<p>Габаритные размеры опорного подшипника соответствуют следующим параметрам: Диаметр посадочного отверстия составляет 61,8+0,1 мм., наружный диаметр - 86,75-0,1 мм., высота составляет 12±0,1 мм. Масса подшипника составляет 0,04±0,005 кг. Монтажные размеры подшипника соответствуют ТУ 4590-1-55390241-2017.</p>	Соответствует требованиям ТЗ
4.2.1	<p>Подшипник должен иметь форму плоского кольца. Верхнее и нижнее кольца должны иметь различный</p>	<p>Подшипник имеет форму плоского кольца. Верхнее и нижнее кольца имеют различный цвет-верхнее</p>	Соответствует требованиям ТЗ

	цвет	кольцо имеет белый цвет, а нижнее кольцо имеет синий цвет.	
4.2.1	Затраты энергии на трение при вращении подшипника на масляной подушке под рабочей нагрузкой не должны превышать 3 Дж	Затраты энергии на трение при вращении подшипника на масляной подушке на угол 37° под рабочей нагрузкой 3420 Н составляет 1,62 Дж	Соответствует требованиям ТЗ
4.2.1	Статическая нагрузка до 15000 Н, частота качательных движений на угол плюс-минус 37 градусов с частотой до 100 дв. кач./мин, внешняя температура от -40°С до +120 °С, допустима вибрация и ударная нагрузка, наличие высокой загрязненности и влажности	Статическая нагрузка составляет до 24000 Н, частота качательных движений на угол плюс-минус 37 градусов с частотой до 100 дв. кач./мин, внешняя температура от -40°С до +120 °С, допустима вибрация и ударная нагрузка, допустимо наличие высокой загрязненности и влажности	Соответствует требованиям ТЗ

6.6. Испытание ОП на соответствие его массогабаритных характеристик требованиям пункта 4.2.2 ТЗ.

Испытание проведено в соответствии с методикой, изложенной в п. 5.6 ПиМ.

№ пункта ТЗ	Наименование показателей	Фактическое значение показателей	Результаты испытаний
4.2.2	Габаритные размеры опорного подшипника должны соответствовать следующим параметрам: Диаметр посадочного отверстия должен составлять 61,8+0,1 мм.	Диаметр посадочного отверстия ОП составляет 61,8+0,1 мм.	Соответствует требованиям ТЗ
4.2.2	Наружный диаметр должен составлять 86,75-0,1 мм.	Наружный диаметр ОП составляет 86,75-0,1 мм.	Соответствует требованиям ТЗ
4.2.2	Высота должна составлять 12 мм. плюс-минус 0,1 мм.	Высота ОП составляет 12 мм. плюс-минус 0,1 мм.	Соответствует требованиям ТЗ
4.2.2	Масса подшипника должна составлять 0,04 кг. плюс-минус 0,005 кг.	Масса ОП составляет 0,042 кг.	Соответствует требованиям ТЗ

6.7. Испытание ОП на соответствие вида его исполнения и товарной формы требованиям пункта 4.2.3 ТЗ.

Испытание проведено в соответствии с методикой, изложенной в п. 5.7 ПиМ.

№ пункта ТЗ	Требования ТЗ	Фактические	Заключение
4.2.3	Подшипник должен иметь форму плоского кольца.	Подшипник имеет форму плоского кольца.	Соответствует требованиям ТЗ
4.2.3	Верхнее и нижнее кольца должны иметь различный цвет.	Верхнее и нижнее кольца имеют различный цвет-верхнее кольцо имеет белый цвет, а нижнее кольцо имеет синий цвет.	Соответствует требованиям ТЗ

6.8. Испытание ОП на соответствие его мощностных характеристик и потребляемой энергии требованиям пункта 4.2.4 ТЗ.

Испытание проведено в соответствии с методикой, изложенной в п. 5.8 ПиМ.

№ пункта ТЗ	Требования ТЗ	Фактические	Заключение
4.2.4	Затраты энергии на трение при вращении подшипника на масляной подушке под рабочей нагрузкой не должны превышать 3 Дж.	Затраты энергии на трение при вращении подшипника на масляной подушке под рабочей нагрузкой составляют 1,62 Дж.	Соответствует требованиям ТЗ

6.9. Испытание ОП на соответствие его условий эксплуатации требованиям пункта 4.2.7 ТЗ.

Испытание проведено в соответствии с методикой, изложенной в п. 5.98 ПиМ.

№ пункта	Требования ТЗ	Фактические	Заключение
4.2.4	Статическая нагрузка до 15000 Н	ОП выдерживает статическую нагрузку до 23000 Н	Соответствует требованиям ТЗ
	Частота качательных движений на угол плюс-	ОП работает при частоте качательных движений на	Соответствует требованиям

	минус 37 градусов с частотой до 100 дв. кач./мин,	угол плюс-минус 37 градусов с частотой до 100 дв. кач./мин,	ТЗ
	Внешняя температура от -40°C до + 120 °С	ОП работает при внешней температуре от -40°C до + 120 °С.	Соответствует требованиям ТЗ
	Допустима вибрация и ударная нагрузка	ОП выдерживает вибрации и высокую ударную нагрузку.	Соответствует требованиям ТЗ
	Наличие высокой загрязненности и влажности.	ОП способен работать при наличии высокой загрязненности и влажности.	Соответствует требованиям ТЗ

8. Замечания и рекомендации

Замечания отсутствуют.

9. Выводы

Согласно полученным результатам, опорный подшипник скольжения на масляной подушке полностью соответствует техническому заданию и рекомендуется для практического применения в верхней опоре передней подвески автомобилей семейства ВАЗ.

Испытание проводили

Руководитель проекта, _____



Анаст.А. Королева

Исполнитель _____



Анна А. Королева

Исполнитель младший научный сотрудник _____



Е.В. Захарова